

ス・フ紡織工程における繊維の疲労現象と 繊維内部構造との関係について

辻 本 石 雄 , 元 治 信 雄

The Relationship Between the Fibrous Weariness on Textile Process of Staple Fibre and Fibre Structure

Ishio TSUJIMOTO , Nobuo MOTOJI

Firstly, when the staple fibres are subjected to mechanical actions during processes those spinning, weaving, scouring, and bleaching, we want to confirm distinctly the slight fibrous weariness which we usually take into consideration in consequence of the above processes by testing fibrous staple length, tensile strength and elongation, and average degree of polymerisation.

Secondly, when the fibres are subjected to slight weariness, we want to judge by X-rays experiment whether the variations of the mechanical properties have any slight effect upon the fibre structure.

Experimental results:

1. We confirmed distinctly the slight fibrous weariness in the order of the processes.
2. The variations of fibrous mechanical properties due to the slight weariness had slight effect upon the crystallite orientation of fibre micells, but no effect upon the strain of crystallite lattice. It was assured through X-ray photograph and through tests of rate of hygroscopicity.
3. The relationship between fibrous hygroscopicity and tensile strength and elongation on the fibrous weariness was found to be linear.

1. 緒 言

紡織工程において、繊維は諸機械工程を経るに従い、疲労を増すことは一般に考えられるところで、著者は先に綿紡績の混打綿工程における繊維の開綿作用と疲労現象との関係を詳細に、実験的に、検討し発表した¹⁾。更に清浄工程を必要としない開綿工程を簡易化したス・フ紡織工程、及び精練漂白工程におけるス・フ繊維の疲労傾向を物理及び化学的な総合実験結果によつて確認し、この疲労現象による繊維の機械的性能の変化が、繊維の内部構造に如何なる影響をもたらすかを X 線実験によつて詳細に研究し、ス・フ紡織の品質向上の検討に資せんとするものである。

2. 実験材料及び実験条件

材料——捲縮ビスコース・ス・フ、フィラメント織度 2d、切断長 2" のもの 1 種で、30'S の経及び緯糸を紡出し、これよりス・フ・モスリンを製織したものである。

条件——紡織工程の機械配列，順序及び各機械の r.p.m. 且つ精練漂白処理等は次のようである。

① ラチス，フィダ（略記号 LF）	キルシナ・ビータ（6枚プレート）	990r.p.m.
② ホツパ，オプナ及びホツパ・フィダ連結	<div> <div>インクラインド・ラチス・ローラ</div> <div>44 //</div> </div> <div> <div>イブナ・ラチス・ローラ</div> <div>94 //</div> </div>	
	（略記号 HF） <div> <div>インクラインド・ラチス・ローラ</div> <div>35 //</div> </div> <div> <div>イブナ・ラチス・ローラ</div> <div>87 //</div> </div>	
③ コンパウンド・スカッチャ	（略記号 CS） <div> <div>第1ビータ（6枚プレート）</div> <div>850 //</div> </div> <div> <div>第2ビータ（6枚プレート）</div> <div>850 //</div> </div> <div> <div>第1ファン</div> <div>1,720 //</div> </div> <div> <div>第2ファン</div> <div>1,350 //</div> </div>	
④ フィニツシヤ・スカッチャ	（略記号 FS） <div> <div>ビータ（6枚プレート）</div> <div>870 //</div> </div> <div> <div>ファン</div> <div>1,290 //</div> </div>	
⑤ 梳綿機	（略記号 CE） <div> <div>テイカ・イン（直径9.5"）</div> <div>410 //</div> </div> <div> <div>シリンダ（直径50"）</div> <div>160 //</div> </div> <div> <div>ドツファ（直径27"）</div> <div>8 //</div> </div> <div> <div>トップの表面速度</div> <div>13/4"/min.</div> </div> <div> <div>トップ数</div> <div>106本</div> </div>	
⑥ 練篠機 第1工程	（略記号 DF.1） <div> <div>フロント・ローラ</div> <div>370r.p.m.</div> </div> <div> <div>ドラフト（4線式）</div> <div>6.2</div> </div>	
⑦ 練篠機 第2工程	（略記号 DF.2） <div> <div>フロント・ローラ</div> <div>370r.p.m.</div> </div> <div> <div>ドラフト（4線式）</div> <div>6.6</div> </div>	
⑧ シンプレックス粗紡機	（略記号 SFL） <div> <div>フロント・ローラ</div> <div>250r.p.m.</div> </div> <div> <div>ドラフト（4線式）</div> <div>7.8</div> </div> <div> <div>フライヤ</div> <div>574r.p.m.</div> </div>	
⑨ リング精紡機	（略記号 SM） <div> <div>フロント・ローラ</div> <div>165 //</div> </div> <div> <div>ドラフト</div> <div>20</div> </div> <div> <div>スピンドル</div> <div>9,120r.p.m.</div> </div>	
⑩ クイック・トラバース・ワインダ	（略記号 QTW） <div> <div>ドラム</div> <div>537 //</div> </div> <div> <div>繰返し張力</div> <div>20gr.</div> </div>	
⑪ 整経機	（略記号 BW） <div> <div>ドロップ・ローラ（3本）</div> <div>45.5r.p.m.</div> </div> <div> <div>ドロップ・ローラによる糸張力</div> <div>5~10gr.</div> </div>	
⑫ 糊付機	（略記号 SSM） <div> <div>ドライビング・プーリ</div> <div>198.5r.p.m.</div> </div> <div> <div>糊壺温度</div> <div>70°C</div> </div> <div> <div>蒸気圧</div> <div>5lb/□</div> </div>	
⑬ 織機	（略記号 LM）	クランク・シャフト 156r.p.m.
⑭ 精練及び漂白	（略記号 SB）	

精練方法——ス・フ・モスリン布 100gr. に対し無水炭酸ソーダ 3%を4lの水に溶解し温度 70°±1°C で30分間処理した。

漂白方法——精練布を次亜塩酸ソーダ 2°TW 溶液を用い常温で1時間処理し次に 12N 塩酸 2c.c. を 200c.c. の水に加えた液中にて20分間酸処理した。

3. 実験方法

ス・フが紡織工程及び精練漂白工程を経るに従い，繊維の疲労傾向が如何なる状態になるか，各工程

別に、試料（特に開綿工程においては圧縮状態より解舒される綿塊の、可及的開綿された部分、及び紡糸より製織工程では、これら糸及び織物より可及的損傷しないよう静かに解舒された繊維を試料とする）をランダム・サンプリングし次に述べる物理及び化学的試験を行い、更に疲労による機械的性能の変化が繊維内部構造に如何なる影響を与えるか X線図的に、且つ繊維の含有水分率測定をも加味して詳細に検討した。

1. 繊維長比較試験

原料ス・フ及び LF, HF, CS, FS, CE, DF.1, DF.2, SFL の各工程（SM 工程以下は測定困難なため有略）よりそれぞれ 20mg 宛数個ランダム・サンプリングし、ステープル・ダイヤグラムを作成し繊維長の損傷程度を調査した。

2. 繊維強伸度試験

原料ス・フ及び全工程別に試料をそれぞれランダム・サンプリングし、ベンゾール・アルコールで油脂、仕上剤等を抽出後更にそれらの試料より無作為に100本宛可検繊維を採取し、標準温湿度20°C、65% RHに調整した恒温恒湿室内において12時間放置してコンデツショニングの後、マッケンヅ単繊維強伸度試験機により単繊維の強伸度（試片長10mm）を測定してその疲労傾向を調査した。

3. 繊維の平均重合度の測定

著者は先に綿紡績混打綿工程における繊維の疲労を測定したが、その繊維の強伸度の変化は極めて軽微で、この際強度減少には繊維素の分解が先行して起り、分解すれば糸状体の分裂を起し、繊維素溶液の粘度の低下を来す。即ち粘度測定は繊維強度の軽微な減少を推測するのに最も鋭敏な尺度であることを述べた⁽²⁾。故に本実験においても同様な方法で工程別の平均重合度を測定した。これを要約すると、各工程よりランダム・サンプリングした試料よりベンゾール・アルコール混合液で油脂、仕上剤を抽出しそれより更に5個宛ランダム・サンプリングし、これらに無水磷酸と90%硝酸の混酸で20°C±0.1°Cの恒温で硝化したものを醋酸エチルにて溶解して、その粘度及び溶剤のそれをオストワルド粘度計で測定して次式より、繊維素溶液の平均重合度を計算した。

$$\text{重合度 } P = K [\eta]$$

$$\text{但し } [\eta] = \frac{\eta_{sp}/C}{1 + K' \cdot \eta_{sp}} \quad \eta_{sp} = \eta_r - 1$$

$$\eta_r = \frac{\text{溶液粘度}}{\text{溶剤粘度}}$$

$$K = \text{恒数} = 75 \quad K' = \text{恒数} = 0.35$$

$$C = \text{溶液 } 100\text{c.c. 中の硝化綿量 (gr)}$$

4. 繊維の X線図の実験

繊維の強度が変化すれば、繊維内部の微結晶の配列度の変化を来すことは従来より研究されているが、各工程別にそれぞれ数個の試料をランダム・サンプリングし、疲労による強度の微小変化が繊維構造に影響するか否かを検討するため X線写真の撮影を行つた。その際工程別の変化を知るため各試料の撮影及び現像条件は可及的に一定にした。即ち島津製熱陰極 X線管、銅対陰極を用い、濾光せず二次電圧 40KV、二次電流 3mA として電圧電流は 5 分毎に調節し、スリット径 1mm、試料とフィルム間距離は 4cm、試料は長さ 2' 切断長のス・フを 10mm の長さに切断し、無緊張状態で撮影するため繊維の方向を揃え繊維束の重量を全工程別の試料につき等量 (2.7mg) になるようにし、繊維の捲縮が無くなる程度に伸して極少量のアラビヤゴム糊で多数の繊維を束状 (約 1mmφ) に附着させ、無緊張状態の繊維に直角の方向より CuK 列示性 X線を 4 時間曝射し、反対側に置いた乾板上に繊維の干渉図を生ぜしめる。フィルムの現像及び定着は温度 18°C の指定液でそれぞれ 5 分及び 20 分として 1 枚毎に新液を用いた。この際繊維の干渉点は、多少共円弧状をなし、その弧の長さは単位胞の軸方向が繊維の方向に対して傾く範囲が大であればある程長くなる。従つてこの角を適当に取扱うことによつて繊維の微結晶の方向が繊維軸に対して整然としているか或は傾が大きいかが、即ち Crystallite orientation が比較出来

るわけで、これより疲労傾向を推測せんとしたのである。なお繊維素繊維 X 線干渉図では、赤道（水平軸）上の最も強い干渉線、即ち（002）面による干渉線を観察して検討した。

5. 繊維の吸湿度の測定

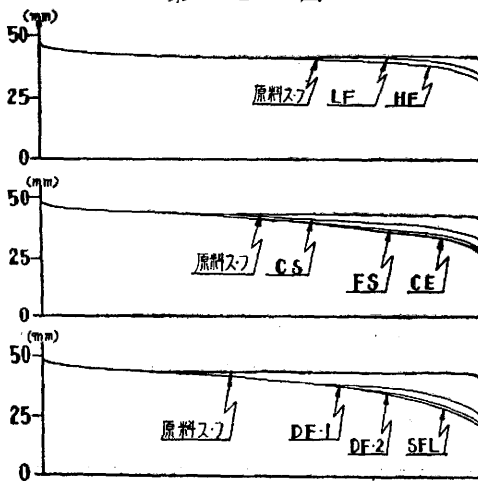
繊維の吸湿度は繊維内部の微結晶の配列度に影響することは従来より種々研究されているが、繊維が疲労し強度が低下すれば、微結晶の配列度の変化を来たすことが考えられるので、前述のように全工程にそれぞれランダム・サンプリングした試料をベンゾール・アルコール混合液で油脂及び仕上剤を抽出した繊維塊一種につき約 1gr 宛 10 箇の試料の吸湿度を測定して、繊維の疲労傾向を調査した。吸湿度の測定は強伸度測定の場合と同様に 20°C、65%RH の恒温、恒温室内に 12 時間試料を放置してコンデシヨニングの後、該室内における精密化学用天秤で標準状態重量（乾燥前重量）を秤量し、次に乾燥器に移し、105°C にて 2 時間乾燥し恒量となつた時を以て無水量（乾燥後重量）とし、このように各試料につき 10 回測定し平均含有水分率を求めた。

4. 実験結果及び考察

1. 繊維長比較試験

本試験は原料ス・フ及び LF より SFL までの 9 工程につき行い、精紡工程以後は繊維を解舒して作つた繊維塊よりのステープル・ダイアグラム作成は技術上相当困難を生じたので（ソーテング中に繊維が切断され易いため）省略した。工程別に求めたステープル・ダイアグラムは第 1 図のようで前紡工程より

第 1 図



後紡工程ほど切断繊維が多く繊維長不同率が増大するようで、これはドラフトのため繊維の weak point で切断されるか、或は捲縮された繊維が多少引き伸ばされるためではなからうか。前紡工程では各工程共微少ながら繊維の損傷が見受けられるが、後紡工程ほどではない。これはス・フ紡績においては精紡績とは異なり清浄工程（或は開綿工程）を簡易化するため可及的繊維の損傷を来たさぬように、徐々に開綿されるためと考えられる。

以上の実験より繊維の疲労を繊維長の損傷程度により大略窺知出来る。

2. 繊維強伸度試験

強伸度による疲労傾向は第 1 表及び第 2 表のようである。即ち工程別順に漸次微少量ながら強度は減少、伸度は増大の傾向を認めた。なお考察を容易にするため、表

中原料の強伸度を 100 とし、各工程別順にその変化の比率を示した。

（第 1 表）破壊強度測定結果（試長 10mm）

種別 測定項目	原料ス・フ	LF	HF	CS	FS	CE	DF・1	DF・2	SFL	SM	QTW	BW	SSM	LM	SB
平均値 { g/d (100回)	3.164	3.162	3.149	3.141	3.136	3.124	3.098	3.088	3.077	3.064	3.040	3.039	3.016	3.008	2.983
比率	100	99.93	99.52	99.27	99.11	98.73	97.91	97.59	97.25	96.83	96.08	96.04	95.32	95.06	94.27
標準偏差 (g/d)	0.613	0.550	0.544	0.563	0.460	0.400	0.433	0.424	0.368	0.384	0.540	0.407	0.403	0.380	0.430
最大値 (%)	3.95	3.85	3.70	3.70	3.70	3.55	3.55	3.60	3.50	3.50	3.55	3.50	3.50	3.45	3.55
最小値 (%)	2.55	2.50	2.55	2.50	2.55	2.60	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.45	2.50	2.40
モード (%)	3.25	3.20	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.00	3.10	3.05	3.00	2.90	2.95	2.85
メデイアン (%)	3.25	3.17	3.12	3.10	3.14	3.07	3.02	3.05	3.00	3.00	3.02	3.00	2.97	2.97	2.97

(第2表) 破壊伸度測定結果(試長10mm)

種別 測定項目	原・料 ス・フ	L F	H F	C S	F S	C E	DF・1	DF・2	SFL	S M	Q T W	B W	SSM	L M	S B
平均値(%)	13.17	13.19	13.39	13.61	13.90	14.40	14.62	14.79	14.82	15.06	15.23	15.43	15.58	15.72	16.18
(100回) 比率	100	100.15	101.67	103.34	105.54	109.33	111.00	112.30	112.52	114.35	115.64	117.16	118.29	119.36	122.85
標準偏差(%)	3.163	2.891	3.002	3.059	3.244	3.200	2.935	2.871	2.901	2.926	2.681	3.259	2.767	2.870	2.394
最大値(%)	22	21	23	22	23	23	23	23	24	24	24	24	22	24	22
最小値(%)	6	5	5	5	5	8	5	6	7	8	8	7	7	7	8
モード(%)	12	13	13	14	14	16	14	14	14	14	15	15	16	16	16
メデアン(%)	14	13	14	13	14	15	14	14	15	16	16	15	14	15	15

3. 繊維の平均重合度の測定

上述の方法で各工程別順に平均重合度を測定したが、人絹ス・フの平均重合度の変化は綿⁽¹⁾の場合に比し僅少なため相当精密の実験を行つたが、測定値のバラツキが多く全工程別順の変化を充分測定し得なかつた。故に主に原料ス・フ及び最後の精練漂白工程の場合につき数回実験を行い平均重合度を求めると、それぞれ335, 273であつた。(但し中間の工程別順の試料の平均重合度は大体335~273の範囲内にあつたので335及び273でその疲労傾向を検討した。)即ち原料から紡績、製織精練の工程を経ると平均重合度は62低下した。しかるに繊維素繊維の強度(F)と平均重合度の逆数(1/p)の間には、従来多数の研究⁽⁴⁾により直線的関係があることが知られている。著者もこれを綿繊維につき実験的に証明した⁽⁵⁾。ところが上述の関係は繊維素繊維の人絹ス・フの場合にも成立することを祖父江博士⁽⁶⁾等によつて実証されている。故に全工程別の平均重合度の変化の考察を容易にするため、参考に本実験の場合にも成立するものと仮定し、原料と精練、漂白工程の平均重合度及び強度より

$$F=3.934-258.571/p$$

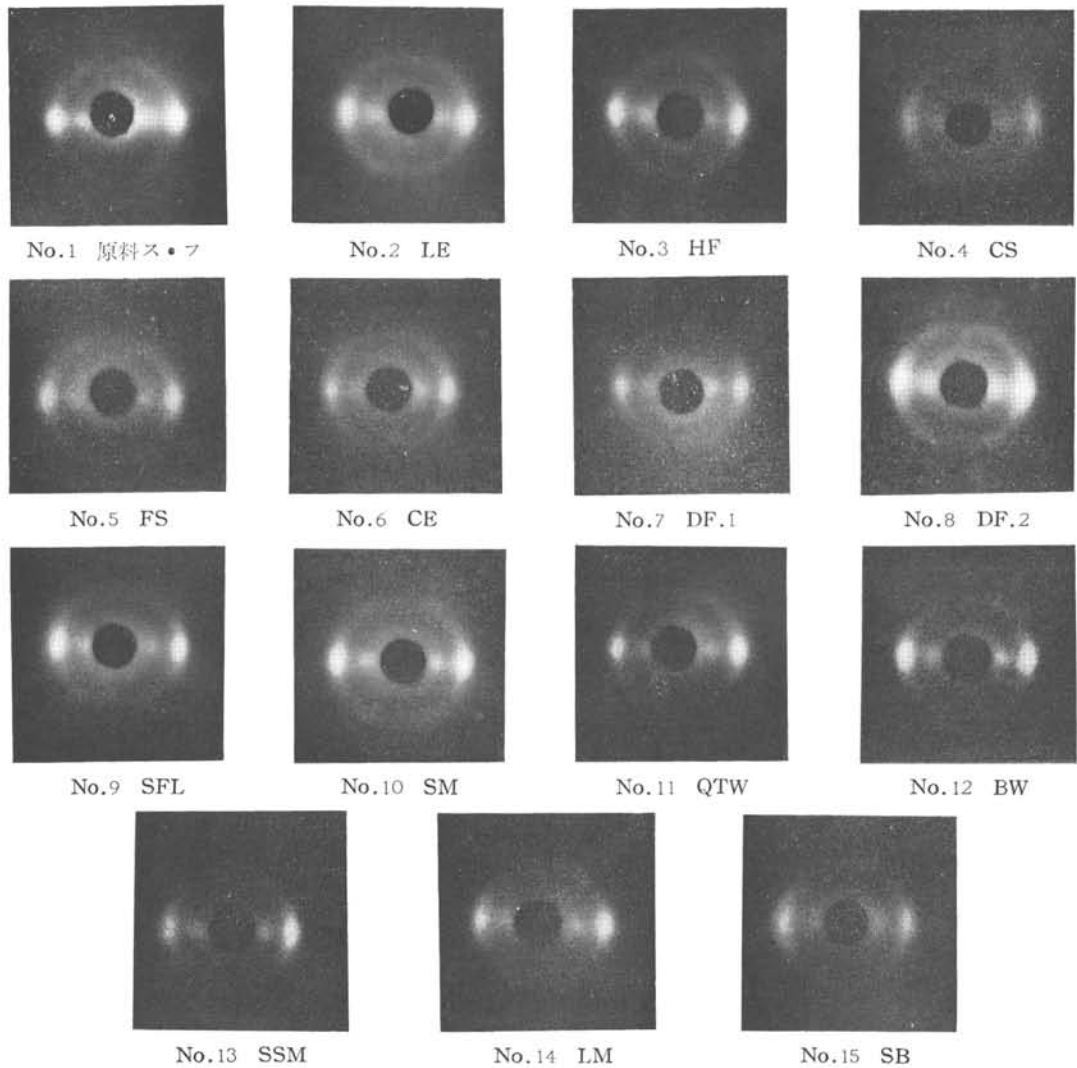
の実験式を求め、この式より第1表の各工程別順の強度の変化に対する平均重合度の変化は第3表のようで工程別順の相互間の僅少な変化を推測することが出来る。

(第3表) 平均重合度の変化(実験式より計算)

工 程 別	原・料 ス・フ	L F	H F	C S	F S	C E	DF・1	DF・2	SFL	S M	Q T W	B W	SSM	L M	S B
平均重合度	335	334	329	326	324	319	309	305	301	297	289	288	281	279	273

4. X線干渉図より疲労傾向の定性的測定

全工程別のそれぞれのランダム・サンプリングした試料より無緊張ス・フ繊維束のX線干渉図を示すと第2図のようである。強伸度乃至平均重合度試験で明らかに繊維の疲労を確認し得たが、これ等の疲労現象が繊維の内部構造に如何なる影響を及ぼすかを図から見ると少くとも2つの重要な点が定性的に指摘されるのではなからうか。即ち一つは微結晶の配列度の減少換言すれば、その変化傾向を見るに最も明瞭な弧状の干渉線即ち(002)面により干渉線の弦長を全工程のそれにつき比較して見ると、後の工程ほど多少弦長の伸びている傾向が窺知出来る。(特に原料ス・フの干渉線が小さく鋭く現われているのに反し、精練漂白工程では伸びている傾向が見られる)他は直射X線の方を中心とするフィルム全般に拡がる分散X線が増加して、フィルムの地が微少ながら不鮮明となり、従つて結晶領域の繊維状配列の減少傾向が推測出来るようである。次に干渉点の中を全工程につき観察すると、殆んど変化しないようで、この実験の範囲内の疲労現象では結晶格子の歪はないものと考えられる。以上は定性的に論じたものであるが、序に定量的には色々の方法が研究⁽⁷⁾されているが、結晶領域のX線廻折像に重つて



第2図 工程別X線干渉図 (縦軸が繊維軸)

現われる連続背景を、無定形部分によるものとして、両者の強度比から結晶部分と非結晶部分の割合を求めることを、Hermans¹³⁾等が述べている。これは勿論繊維素は結晶部分と非結晶部分とに劃然と分れているものとは考えられず、両者の中間に相当するような準結晶状態を考えなければならないであろう。

5. 繊維の吸湿度の測定

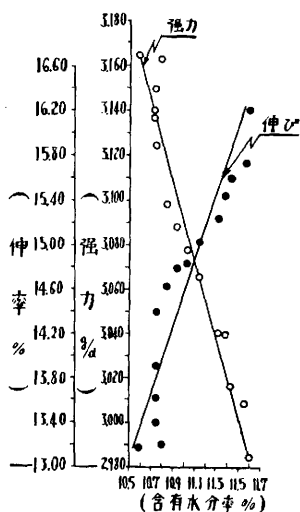
繊維は微結晶の配列度が小になれば吸湿度が増大することが研究されているが、本実験でも全工程別に試料の吸湿度を測定すると第4表のようになり、繊維の疲労の増加につれて吸湿度は表の如く大体微

(第4表) 平均含有水分率 (10回平均)

工程別	原料ス・フ	LF	HF	CS	FS	CE	DF・1	DF・2	SFL	SM	QTW	BW	SSM	LM	SB
含有水分率 (%)	10.583	10.791	10.730	10.734	10.729	10.731	10.827	10.925	11.056	11.106	11.290	11.353	11.415	11.534	11.571
比率	100	101.9	101.3	101.4	101.3	101.3	102.3	103.2	104.4	104.9	106.6	107.2	107.8	108.9	109.3

少宛ながら増加の傾向を示す。これによつて微結晶の配列度が本実験の疲労現象程度でも漸次微少宛減少されるものゝように思考される。以上の実験結果より、強伸度測定或は平均重合度測定により本実験の範囲内における繊維の疲労傾向が確認出来た。更にこれらを吸湿度及びX線の研究によると微少なながらも繊維の微結晶配列度の減少を来たすことが実験的に証明された。しかし繊維が疲労すれば漸次微少宛強度を減じ伸度の増加を示すが、これは繊維の強度が主として微結晶相互間の接触面間に働く力に起因し、伸度は微結晶の該結晶の該方向に対する回転及び微結晶間のこりによるものと仮定すれば、繊維が疲労し微結晶の配列度が漸次減少するに従い微結晶間の接触面が小となり、従つて摩擦力を減じ強度が小となり、伸度は微結晶の配列度の低下に従い微結晶が力の方向に対する回転及び微結晶間のこりを生じ易くなり、伸びを増加するものと解釈し得るように思考される。次に重要な事項として吸湿度及び強伸度

第3図



の変化を第3図の如くプロットすれば、明らかに直線的関係があることが実験的に求められた。即ち繊維が疲労して強伸度を変化すれば漸次吸湿度が比例的に増加するわけである。以上のように吸湿度の測定及びX線の研究によつて、本実験においては、繊維が疲労すれば漸次微少宛強度を減少し、伸度を増しこれらはX線図における微結晶の配列の変化と並行に変化を来たすことが、実験的に証明された。

5. 結 言

ビスコース捲縮ス・フ紡織工程及び精練漂白工程の諸機械作用及び化学加工処理を経るに従い、微少宛ながら漸次疲労を来たすことを、繊維長比較試験、強伸度及び平均重合度の変化等の試験により確認し、本実験程度の疲労現象による繊維の機械的性能の微少量宛の変化でも吸湿度及びX線の実験により繊維の内部構造の変化、即ち微結晶の配列度の変化に影響し微少宛ながら漸次配列度の低下を来たし、結晶格子の歪の変化には影響しないように考察された。且つ結晶配列度の低下に従い吸湿度が漸次増大の傾向を示し、その傾向と強伸度の変化には比例的な関係があることを実験的に求めることが出来た。

終りに本実験の変化の試料は大和紡績株式会社、山本金沢工場長及び北日本紡績株式会社、北川工場長より御配慮を願つたことを附記し両氏に衷心より厚く御礼を申し上げる次第である。なお本研究は昭和27年度文部省科学研究費によるもので御当局に深謝すると共に本報文は日本繊維機械学会誌昭和28年7月号に既に掲載済みのものである。

引 用 文 献

- (1), (2), (3), (5), 辻本・元治：混打綿工程中における繊維の疲労現象（第2報）
日本繊維機械学会誌（第6巻 第7号 昭和28年7月）
- (4) H. Staudinger, F. Reinecke, Papierfab. 36 989 (1938)
金丸競, 畑敏雄：繊維工業学会誌 9, 532 (昭和12年)
- (6) 祖父江寛, 杉本敏雄：繊維学会講演会講演集 (昭和19年6月)
- (7) R. Meredith: J. Text. Inst., 1951—7~8: On the technique of measuring orientation in cotton by X-rays. この筆者の訳出は日本繊維機械学会発行海外繊維技術文献集 Vol.3 No2, 16 1953—2 に掲載
- (8) Hermans, Weidinger: J. Am. Chem. Soc., 68 (1946), 2547; J. App. Phys., 19 (1948), 491